

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. Mai 2004 (06.05.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/038959 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷:

H04B 7/26

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/EP2003/011962

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:

28. Oktober 2003 (28.10.2003)

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

02257475.0 28. Oktober 2002 (28.10.2002) EP

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];

Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

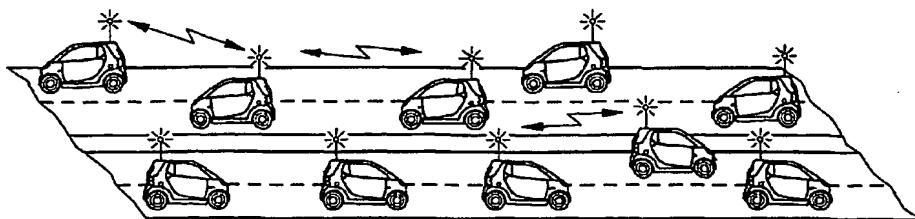
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD FOR DECENTRALISED SYNCHRONISATION IN A SELF-ORGANISING RADIO COMMUNICATION SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR DEZENTRALEN SYNCHRONISATION IN EINEM SELBSTORGANISIERENDEN FUNKKOMMUNIKATIONSSYSTEM



(57) Abstract: The invention relates to a method for synchronisation in an at least partly self-organising radio communication system with a number of mobile stations which lie across an air interface within two-way radio range. According to the invention, at least some mobile stations from the number of mobile stations transmit synchronisation sequences, by means of which a part or all the mobile stations of the number of mobile stations synchronize.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Synchronisation in einem zumindest teilweise selbstorganisierenden Funkkommunikationssystem mit einer Anzahl von Mobilstationen, welche in gegenseitiger Funkreichweite über eine Luftschmittstelle liegen. Erfindungsgemäß übertragen zumindest einige Mobilstationen aus der Anzahl von Mobilstationen Synchronisationssequenzen, anhand deren sich ein Teil der oder alle Mobilstationen der Anzahl von Mobilstationen aufsynchronisieren.

WO 2004/038959 A1

Beschreibung

Verfahren zur dezentralen Synchronisation in einem selbstorganisierenden Funkkommunikationssystem

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Synchronisation in einem zumindest teilweise selbstorganisierenden Funkkommunikationssystem mit einer Anzahl von Mobilstationen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

10

Die Erfindung betrifft ferner eine Mobilstation in einem zumindest teilweise selbstorganisierenden Funkkommunikationssystem nach dem Oberbegriff des Anspruchs 13, sowie ein Funkkommunikationssystem.

15

Kommunikationssysteme haben eine große Bedeutung im wirtschaftlichen, aber auch im privaten Bereich. Es sind starke Bestrebungen vorhanden, kabelgebundene Kommunikationssysteme mit Funkkommunikationssystemen zu verknüpfen. Die entstehenden hybriden Kommunikationssysteme führen zu einer Erhöhung der Zahl der zur Verfügung stehenden Dienste, ermöglichen aber auch eine größere Flexibilität auf Seiten der Kommunikation. So werden Geräte entwickelt, die unterschiedliche Systeme nutzen können (Multi Homing).

20

Den Funkkommunikationssystemen kommt dabei aufgrund der ermöglichten Mobilität der Teilnehmer eine große Bedeutung zu.

25

In Funkkommunikationssystemen werden Informationen (beispielsweise Sprache, Bildinformation, Videoinformation, SMS [Short Message Service] oder andere Daten) mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen über eine Funkschnittstelle zwischen sendender und empfangender Station (Basisstation bzw. Teilnehmerstation) übertragen. Das Abstrahlen der elektromagnetischen Wellen erfolgt dabei mit Trägerfrequenzen, die in

2

dem für das jeweilige System vorgesehenen Frequenzband liegen.

Für das eingeführte GSM-Mobilfunksystem (Global System for
5 Mobile Communication) werden Frequenzen bei 900, 1800 und
1900 MHz genutzt. Diese Systeme übermitteln im wesentlichen
Sprache, Telefax und Kurzmitteilungen SMS (Short Message Ser-
vice) als auch digitale Daten.

10 Für zukünftige Mobilfunksysteme mit CDMA- oder TD/CDMA-Über-
tragungsverfahren, wie beispielsweise UMTS (Universal Mobile
Telecommunication System) oder andere Systeme der dritten
Generation, sind Frequenzen im Frequenzband von ca. 2000 MHz
vorgesehen. Diese Systeme der dritten Generation werden ent-
wickelt mit den Zielen weltweiter Funkabdeckung, einem großen
15 Angebot an Diensten zur Datenübertragung und vor allem eine
flexible Verwaltung der Kapazität der Funkschnittstelle, die
bei Funk-Kommunikationssystemen die Schnittstelle mit den
geringsten Ressourcen ist. Bei diesen Funk-Kommunikations-
20 systemen soll es vor allem durch die flexible Verwaltung der
Funkschnittstelle möglich sein, dass einer Teilnehmerstation
bei Bedarf eine große Datenmenge mit hoher Datengeschwindig-
keit senden und/oder empfangen kann.

25 Der Zugriff von Stationen auf die gemeinsamen Funkressourcen
des Übertragungsmedium, wie zum Beispiel Zeit, Frequenz, Lei-
stung oder Raum, wird bei diesen Funk-Kommunikationssystemen
durch Vielfachzugriffsverfahren (Multiple Access, MA) gere-
gelt.

30 Bei Zeitbereichs-Vielfachzugriffsverfahren (TDMA) wird jedes
Senden- und Empfangsfrequenzband in Zeitschlitzte unterteilt,
wobei ein oder mehrere zyklisch wiederholte Zeitschlitzte den
Stationen zugeteilt werden. Durch TDMA wird die Funkressource
35 Zeit stationsspezifisch separiert.

Bei Frequenzbereichs-Vielfachzugriffsverfahren (FDMA) wird der gesamte Frequenzbereich in schmalbandige Bereiche unterteilt, wobei ein oder mehrere schmalbandige Frequenzbänder den Stationen zugeteilt werden. Durch FDMA wird die Funkressource Frequenz stationsspezifisch separiert.

Bei Codebereichs-Vielfachzugriffsverfahren (CDMA) wird durch einen Spreizcode, der aus vielen einzelnen sogenannten Chips besteht, die zu übertragende Leistung/Information stationsspezifisch codiert, wodurch die zu übertragende Leistung codebedingt zufällig über einen großen Frequenzbereich gespreizt wird. Die von unterschiedlichen Stationen benutzen Spreizcodes innerhalb einer Zelle/Basisstation sind jeweils gegenseitig orthogonal oder im wesentlichen orthogonal, wodurch ein Empfänger die ihm zugedachte Signalleistung erkennt und andere Signale unterdrückt. Durch CDMA wird die Funkressource Leistung durch Spreizcodes stationsspezifisch separiert.

Bei orthogonalen Frequenz-Vielfachzugriffsverfahren (OFDM) werden die Daten breitbandig übermittelt, wobei das Frequenzband in äquidistante, orthogonale Unterträger eingeteilt wird, so dass die simultane Phasenverschiebung der Unterträger einen zwei-dimensionalen Datenfluss im Zeit-Frequenzbereich aufspannt. Durch OFDM wird die Funkressource Frequenz mittels orthogonalen Unterträgern stationsspezifisch separiert. Die während einer Zeiteinheit auf den orthogonalen Unterträgern übermittelten zusammengefassten Datensymbole werden als OFDM Symbole bezeichnet.

Die Vielfachzugriffsverfahren können kombiniert werden. So benutzen viele Funkkommunikationssysteme eine Kombination der TDMA und FDMA Verfahren, wobei jedes schmalbandige Frequenzband in Zeitschlüsse unterteilt ist.

Für das erwähnte UMTS-Mobilfunksystem wird zwischen einem sogenannten FDD-Modus (Frequency Division Duplex) und einem

4

TDD-Modus (Time Division Duplex) unterschieden. Der TDD-Modus zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass ein gemeinsames Frequenzband sowohl für die Signalübertragung in Aufwärtsrichtung (UL - Uplink) als auch in Abwärtsrichtung (DL - Downlink) genutzt wird, während der FDD-Modus für die beiden Übertragungsrichtungen jeweils ein unterschiedliches Frequenzband nutzt.

In Funkkommunikationsverbindungen der zweiten und/oder dritten Generation können Informationen kanalvermittelt (CS Circuit Switched) oder paketvermittelt (PS Packet Switched) übertragen werden.

Die Verbindung zwischen den einzelnen Stationen erfolgt über eine Funkkommunikations-Schnittstelle (Luftschnittstelle). Basisstation und Funknetzwerkkontrolleinrichtung sind üblicherweise Bestandteile eines Basisstationssubsystems (RNS Radio Network Subsystem). Ein zellulares Funkkommunikationssystem umfasst in der Regel mehrere Basisstationssubsysteme, die an ein Kernnetz (CN Core Network) angeschlossen sind. Dabei ist die Funknetzwerkkontrolleinrichtung des Basisstationssubsystems in der Regel mit einer Zugangseinrichtung des Kernnetzes verbunden.

Neben diesen hierarchisch organisierten zellularen Funkkommunikationssystemen gewinnen selbstorganisierende drahtlose Funkkommunikationssysteme - beispielsweise sogenannte Ad Hoc Systeme - zunehmend an Bedeutung, auch in zellularen Funkkommunikationssystemen.

Selbstorganisierende Funkkommunikationssysteme erlauben im allgemeinen auch die direkte Kommunikation zwischen mobilen Endgeräten und besitzen nicht notwendigerweise eine zentrale Instanz, die den Zugriff auf das Übertragungsmedium steuert.

Selbstorganisierende Funkkommunikationssysteme ermöglichen, dass Datenpakete direkt zwischen beweglichen Funkstationen ohne Mitwirkung von Basisstationen ausgetauscht werden können. In einem solchen Funknetz ist folglich eine

5 Infrastruktur in Form von Basisstationen innerhalb einer zellularen Struktur nicht erforderlich. Stattdessen können Datenpakete zwischen beweglichen Funkstationen ausgetauscht werden, die sich zueinander in Funkreichweite befinden. Um den Austausch von Datenpaketen grundsätzlich zu ermöglichen, 10 ist eine Synchronisation zwischen den in der Regel beweglichen Funkstationen erforderlich. Im Falle einer drahtlosen Übertragung über elektromagnetische Wellen bedeutet dies z.B. den Abgleich von Trägerfrequenz (Frequenzsynchronisation) und Zeitraster (Zeitsynchronisation).

15 Für die Synchronisation in mobilen Datenfunknetzen sind unterschiedliche Lösungen denkbar. So können die Mobilstationen über eine gemeinsame Referenz verfügen, die z.B. über GPS übertragen wird. Es gibt somit im System eine 20 global bekannte Zeitinformation, nach der sich alle Mobilstationen richten können (z.B. VDL Mode 4, bzw. WO 93/01576, „A Position Indicating System“). Nachteilig an diesem Verfahren ist zum einen, dass alle Mobilstationen über einen kostenintensiven GPS-Empfänger verfügen müssen. Zum 25 anderen ist der Empfang von GPS-Signalen z.B. in Gebäuden nicht immer voll gewährleistet. Andere Systeme wiederum, wie z.B. TETRA, gewährleisten die Auswahl eines Masters, der die Funktion eines ‚Taktgebers‘ für den ihm zugeordneten Frequenzbereich übernimmt. Eine hohe Granularität über die 30 Zeit (TDMA) und/oder den Code (CDMA) scheidet bei solchen Verfahren allerdings aus. Für die Separierung der Teilnehmer wird hier vorzugsweise eine FDMA Komponente eingesetzt. Eine dritte Gruppe von Systemen wiederum, wie z.B. IEEE802.11 verzichten auf ein gemeinsames Zeitraster. Die Mobilstationen 35 synchronisieren sich in Form einer One-Shot-Synchronisation auf den jeweils empfangenen Datenburst. Hier ist allerdings

eine Reservierung von Ressourcen in Form von Zeitschlitzten zur Gewährleistung der QoS nicht mehr möglich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren, eine
5 Mobilstation und Funkkommunikationssystem der eingangs
genannten Art aufzuzeigen, welche eine zeitliche
Synchronisation zwischen beweglichen Funkstationen für ein
selbstorganisierendes Datenfunknetz ermöglichen, ohne dass
hierfür eine zellulare Infrastruktur vorhanden sein muss. Die
10 Synchronisation sollte nicht auf GPS angewiesen und dezentral
organisierbar sein. Trotzdem sollte eine Rahmenstruktur in
einer stark zeitvarianten Netztopologie unterstützt werden
können, denn es sollte insbesondere die Synchronisation bei
hoher Mobilität der Teilnehmer ermöglicht werden, d.h. bei
15 starker Fluktuation der Netzwerktopologie (z.B. bei
Mobilstationen in sich bewegenden Fahrzeugen, vgl. Fig. 1).
Zusätzlich sollte in einem weiteren Schritt die Vereinigung
asynchron laufender Cluster hinsichtlich der Synchronisation
betrachtet werden, wobei in gegenseitiger Funkreichweite
20 liegende Mobilstationen als Cluster bezeichnet werden.

Die Aufgabe wird für das Verfahren mit den Merkmalen des
Anspruchs 1, für die Mobilstation mit den Merkmalen des
Anspruchs 13 und für das Funkkommunikationssystem mit den
25 Merkmalen des Anspruchs 15 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltung und Weiterbildungen sind
Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

30 Erfindungsgemäß werden zumindest einige Mobilstationen aus
der Anzahl von Mobilstationen Synchronisationssequenzen
übertragen, anhand deren sich ein Teil der oder alle
Mobilstationen der Anzahl von Mobilstationen aufsynchro-
nisieren.

35 Aufgrund der Unabhängigkeit der Synchronisation von der
zellularen Infrastruktur und insbesondere von Basisstationen

erfolgt die Synchronisation dezentral. Die Teilnehmerstationen können, müssen aber nicht mobil sein. Im folgenden werden diese Teilnehmerstationen als Mobilstationen bezeichnet.

5

Die Erfindung ist insbesondere für TDD/TDMA basierte Technologien - wie sie derzeit für die nächste Generation der Mobilkommunikation diskutiert werden - geeignet.

10 Beispielsweise kann die Erfindung mit Vorteil bei einer Variante der (aktuellen) 3. Generation der Mobilkommunikation eingesetzt werden, denn die dezentral organisierte Synchronisation für hochmobile Datenfunknetze kann für die Low Chip Rate (LCR) Variante von UTRA TDD realisiert werden. Portierung der Algorithmen auf TSM bzw. HCR sind einfach 15 umzusetzen. Darüber hinaus ist auch die Anwendung auf andere zeitschlitzorientierte Access-Systeme, wie z.B. DECT, möglich.

20 In selbstorganisierenden Funknetzen mit einer zentral organisierten Synchronisation übernimmt - innerhalb eines Clusters - eine Mobilstation die Funktion des Taktgebers. Diese Rolle kann zu Beginn des Netzaufbaus festgelegt werden. Sie kann aber auch von zeitlich begrenzter Dauer sein. Protokollmechanismen, die die Auswahl der entsprechenden 25 Mobilstation organisieren sind bekannt (vgl. z.B. HIPERLAN2).

Bei einer dezentral organisierten Synchronisation nach der vorliegenden Erfindung übernimmt nicht eine einzelne Mobilstation die Funktion des Taktgebers, sondern eine 30 Teilmenge aller beteiligten Mobilstationen. Im Grenzfall können sogar alle Mobilstationen zur Aufrechterhaltung der Synchronisation herangezogen werden.

35 Neben den eigentlichen Nutzdaten übertragen diese Mobilstationen auch Synchronisationssequenzen. Die Synchronisationssequenzen können dabei Teil eines informationstragenden Datenpaketes sein. Sie können aber auch

separat durch einen eigenen d.h. von der Nutzdatenübertagung separaten Synchronisationskanal, der über Frequenz, Zeit und/oder Code-Multiplex definiert wird, dem Funknetz zur Verfügung gestellt werden.

5

Aufsynchronisierende Mobilstationen detektieren die Synchronisationslagen $T_{SYNC,i}$ der anderen Mobilstationen und leiten ihre eigene Synchronisationslage aus diesen ab. Die Güte der einzelnen detektierten Synchronisationslagen - die z.B. aus deren Empfangssignalstärke abgeleitet werden kann - kann dabei ebenso berücksichtigt werden, wie die vorhergehende Synchronisationslage der aufsynchronisierenden Mobilstation.

10 15 Für die zeitliche Synchronisationslage T_{SYNC} kann beispielhaft der folgende Zusammenhang angesetzt werden:

$$T_{SYNC} = \alpha \cdot T_{SYNC,old} + \frac{1-\alpha}{\sum_i g_i} \sum_i g_i \cdot T_{SYNC,i}; 0 \leq \alpha \leq 1$$

20 Dabei ist α ein Gewichtungsfaktor für die vorhergehende Synchronisationslage $T_{SYNC,old}$ der aufsynchronisierenden Mobilstation. Für die Gewichtung g_i der aktuell detektierten Synchronisationslagen der anderen Mobiles i gibt es unterschiedliche Strategien. Es werden nachfolgend exemplarisch zwei aufgeführt:

25

1.) Detektion des Maximum: $g_i = \begin{cases} 1 & \text{für } \max \text{ Empf.pegel} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

2.) Gewichtung mit dem Empfangspegel

30 Es hat sich gezeigt, dass für die Konvergenz der dezentralen Synchronisation die Berücksichtigung der vorhergehenden Synchronisationszeitpunkte von besonderer Bedeutung ist und daher bevorzugt für die Bestimmung in Kombination mit Synchronisationslagen der anderen Mobil eingesetzt wird. Auf

diese Weise kann der Schätzwert ‚kontinuierlich‘ verbessert werden.

Da der Synchronisationszeitpunkt einer Mobilstation i.a. aus mehreren Referenzen abgeleitet wird, die Signallaufzeiten auf Grund der unterschiedlichen Distanzen zwischen den einzelnen Mobiles allerdings sehr unterschiedlich sein können, ist im Gegensatz zur Synchronisation in einem zentral organisierten Netz (z.B. mit einer Basisstation) die Varianz der Synchronisationslage möglicherweise höher. Dies kann bei der Dimensionierung der entsprechenden Guard-Intervalle berücksichtigt werden. Bei einer Reichweite von 1 km z.B. ergibt sich allein auf Grund der Laufzeitdifferenzen eine zusätzliche Toleranz von bis zu 3 μ s, die kompensiert werden sollte.

Im folgenden werden einige Ausführungsvarianten beschrieben:

- A. Das Aussenden der Synchronisationsdaten kann im gleichen Burst, der auch die Daten trägt, erfolgen. Die Lage (z.B. als Pre- oder Mid-Ambel) der Synchronisationsdaten zur eigentlichen Datensequenz ist dabei irrelevant.
- B. Das Verfahren ist nicht an eine gemeinsame Übertragung von Synchronisationsdaten und der eigentlichen Datensequenz gebunden. Die Synchronisationsdaten können wahlweise auch über einen weiteren Burst, der durch eine CDMA, TDMA oder aber auch FDMA Komponente vom eigentlichen Datenburst separiert wird, übertragen werden. Entscheidend ist lediglich, dass die relative Lage dieser Bursts zum eigentlichen Datenburst eindeutig festgelegt sein muss.
- C. Für eine Aufrechterhaltung der Synchronisation ist die zyklische (nicht notwendigerweise periodische) Aussendung der Synchronisationssequenz bedeutend. Ein, mehrere oder aber auch alle Mobiles müssen gewährleisten, dass dieser ‚Dienst‘ der Luftschnittstelle zur Verfügung gestellt wird. Dies gilt insbesondere auch dann, wenn keines der beteiligten Mobiles

Nutzdaten überträgt. Das zyklische Aussenden eines Burst – im folgenden auch als Beacon bezeichnet, der unter anderem auch die Synchronisationsfolge trägt, ist sowohl für die dezentrale Synchronisation gemäß dem hier beschriebenen

5 Verfahren, als auch die Organisation des selbstorganisierenden Netzes – z. B. zur Identifikation der innerhalb der Funkreichweite liegenden Nachbarn, sowie der Aktualisierung der ‚Nachbarliste‘ – von außerordentlichem Vorteil.

10

D. Jede Mobilstation leitet ihren eigenen Referenztakt aus den Synchronisationssignalen der Mobilstationen ab, die innerhalb ihrer Synchronisationsreichweite liegen. Die Qualität und Güte dieser Referenzen kann sehr unterschiedlich sein. Während eine der Mobilstationen als Referenz auch ein GPS Signal verwendet, kann eine andere lediglich ihren Referenztakt aus den Empfangssignalen der anderen Mobilstationen ableiten. Zur Verbesserung der Synchronisation kann z.B. im Beacon ein Maß für die Qualität der Referenz angegeben werden, was dann bei der Berechnung des optimalen Abtastzeitpunktes durch eine entsprechende Gewichtung berücksichtigt werden kann.

E. Für Zugriffsverfahren, die mehrere Zeitschlüsse in einem Rahmen oder aber sogar mehrere Rahmen zu sogenannten Superrahmen zusammenfassen, müssen Mechanismen definiert werden, die eine Rahmensynchronisation unterstützen. Hier bietet es sich an, die jeweiligen Zeitschlüsse zu markieren, so daß aus der Markierung auf die Lage im jeweiligen Rahmen rückgeschlossen werden kann.

Eine einfache Möglichkeit besteht z.B. in der Verwendung einer anderen Synchronisationssequenz für den ersten Zeitschlitz, wie in Beispiel 1 in **Fig. 2** gezeigt. **Fig. 2** zeigt die Markierung der Synchronisationssequenz zur Rahmensynchronisation zu Beispiel 1. Nachteilig bei diesem Verfahren ist allerdings die relativ hohe Dauer für das ‚Auffinden des Rahmenanfangs. Im ungünstigsten Falle muss die

komplette Rahmendauer gewartet werden, bis sich die entsprechende, den Rahmen definierende Sequenz wiederholt (vorausgesetzt es wird dafür Sorge getragen, dass zumindest einer der Teilnehmer einen Beacon im ersten Zeitschlitz generiert). Eine schnellere Möglichkeit zur Rahmensynchronisation zeigt Beispiel 2 in **Fig. 3**. **Fig. 3** zeigt die Markierung der Synchronisationssequenz zur Rahmensynchronisation zu Beispiel 2. Hier ist die Synchronisationsfolge immer abhängig von der Position im Rahmen, d.h. jedem Zeitschlitz wird eine eindeutige Synchronisationsfolge zugewiesen (bzw. ein Satz von eindeutigen Synchronisationsfolgen). Die Zeitschlitzsynchronisation liefert damit inhärent auch die Rahmensynchronisation. Nachteilig ist hier allerdings der hohe numerische Aufwand, da für jede eigenständige Synchronisationsfolge ein eigener Korrelator bedient werden muss.

Sequential Synchronisation – Joint Synchronisation:

Die dezentrale Synchronisation zeichnet sich dadurch aus, daß die Synchronisationssequenzen nicht von einer einzelnen Mobilstation, sondern von mehreren Mobilstationen gesendet werden können. Grundsätzlich können die Synchronisationssequenzen der unterschiedlichen Mobilstationen unterschiedliche oder aber die gleiche Funkressource (die festgelegt ist durch Frequenzband, Zeitschlitz und/oder Code) belegen. Demnach werden zwei Typen der dezentralen Synchronisation im Rahmen dieser Erfindung unterschieden:

- Sequential Synchronisation
- Joint Synchronisation

Zur Erläuterung soll für beide Modi eine dezentrale Synchronisation auf Basis der von der 3GPP definierten Rahmenstruktur für den UTRA-TDD Modus (Low Chip Rate)

12

erläutert werden. Dies ist in **Fig. 4** skizziert [3GPP TS 25.221 V4.1.0].

5 Ergänzend zu Fig. 4 ist anzugeben:

Time slot#n (n from 0 to 6): the nth traffic time slot, 864 chips duration;
DwPTS: downlink pilot time slot, 96 chips duration;
10 UpPTS: uplink pilot time slot, 160 chips duration;
GP: main guard period for TDD operation, 96 chips duration;

Der gewählte Rahmenaufbau ist auch für TSM gültig. Eine Portierung auf die High Chip Rate Variante von UTRA-TDD ist 15 problemlos möglich.

Sequential Synchronisation:

20 Die Rahmenstruktur von UTRA-TDD wurde für den Betrieb in zellularen Netzen optimiert. Für den Betrieb in einem selbstorganisierenden Funknetz sind leichte Modifikationen erforderlich. Unter anderem wird für die Lösung der Power Impairment Problematik vorgeschlagen, dass innerhalb eines 25 Zeitschlitzes nur eine Mobilstation den Sendebetrieb aufnehmen darf. Die bis zu 16 unterschiedlichen Codes werden dann verwendet, um unterschiedliche Empfangs-Mobiles zu adressieren. Da ständig in einer Art 'Down-Link Mode' operiert wird, kann auf unterschiedliche Midambeln innerhalb 30 eines Zeitschlitzes verzichtet werden, da jedes der empfangenden Mobiles nur auf die Schätzung eines einzigen Kanals angewiesen ist. Durch die Korrelation auf die charakteristische Midambel des jeweiligen Zeitschlitzes, kann das Timing des jeweiligen Mobiles in Relation zum eigenen 35 Timing festgestellt werden. Die Mitteilung über die gefundenen Synchronisationslagen gibt dann ein Maß dafür an, wie weit das eigene 'Zeitraster' angeglichen werden muss. Zur

Aufwandsreduktion kann in allen Zeitschlitten mit der gleichen Midambel operiert werden. Für die Rahmensynchronisation ist es allerdings erforderlich einen Slot gesondert zu markieren, indem z.B. für diesen Slot eine 5 gesonderte Synchronisationssequenz ausgewiesen wird. Es ist weiterhin in diesem Fall dafür Sorge zu tragen, dass dieser Slot immer von einer Mobilstation genutzt wird, da sonst die Rahmensynchronisation nicht aufrecht erhalten werden kann.

10

Joint Synchronisation:

Zusätzlich zum eigentlichen datentragenden Burst wird hier von einem Teil der Mobiles die gleiche 15 Synchronisationssequenz/Beacon gleichzeitig in einem gesonderten Zeitschlitz gesendet. Dies vereinfacht den Aufwand für die Synchronisation erheblich.

20

- Die Rahmensynchronisation ist impliziter Bestandteil des Algorithmus
- Aufwendige Mittelwertbildung zum Auffinden der eigenen Sync.Lage entfällt. Die Mittelung erfolgt gewissermaßen auf dem Übertragungsmedium durch die Überlagerung der die Synchronisationssequenzen 25 tragenden Signale.
- Der Synchronisationsmechanismus ist - abgesehen davon, dass das Mobile zeitweise selbst die Sync.- Sequenz abstrahlt - völlig identisch zum Betrieb im zellularen Fall.

30

Im Falle von UTRA-TDD LCR stehen zwei gesonderte Synchronisations-Zeitschlitte zur Verfügung. Beide könnten im Falle der Joint Synchronisation sinnvoll eingesetzt werden. 35 Eine Zeitschlitz wird zum Empfang der Synchronisationsfolge der umgebenden Mobiles eingesetzt, der andere zum Senden einer eigenen Synchronisationsfolge. Damit senden alle

Mobiles in jedem Rahmen einmal ihre Synchronisationsfolge aus und sind gleichzeitig einmal in der Lage sich auf ihre Umgebung aufzusynchronisieren. Bei der Aufsynchronisation eines Mobiles auf ein bereits bestehendes Cluster wäre es 5 allerdings - als Ausnahme von dieser Regel - möglich beide Synchronisationszeitschlüsse im Empfangsmodus zu betreiben. Zur Differenzierung der Synchronisationszeitschlüsse wird dem ersten und zweiten Zeitschlitz eine unterschiedliche Synchronisationssequenz zugeteilt. Jedes Mobile sollte die 10 Aussendung seiner Synchronisationsfolge dem Zeitschlitz zuordnen, der die geringere Empfangsleistung aufweist, damit wird eine näherungsweise gleichmäßige Zuteilung der Mobiles zu beiden Zeitschlüßen gewährleistet. Insbesondere beim Aufbau des Clusters wird das zweite aktive Mobile dem nicht 15 besetzten Zeitschlitz zugeordnet.

Zur Erläuterung von Sequential und Joint Decentral Synchronisation siehe die **Fig. 5**. Im oberen Teil Fig. 5A von Fig. 5 ist die Sequential Decentral Synchronisation und im 20 unteren Teil Fig. 5B die Joint Decentral Synchronisation dargestellt.

Nachfolgend wird die Synchronisation von asynchronen 25 Clustern/Stationen betrachtet. Dabei wird das Prinzip der Schutz-Zone angewendet.

Eine der wesentlichen Herausforderungen, die die 30 Synchronisation in mobilen selbstorganisierenden Netzen stellt, veranschaulicht **Fig. 6**. Hier werden unabhängig voneinander 2 Cluster (mit jeweils 3 Stationen) aufgebaut, die auf Grund ihrer Entfernung (beide Cluster liegen außerhalb ihrer gegenseitigen Funkreichweite) asynchron 35 zueinander betrieben werden können. Ohne eine Referenz, wie z.B. GPS oder die Basisstation eines Mobilfunksystems, kann ein synchroner Gleichlauf beider Cluster nicht garantiert werden. Im Rahmen dieser Erfindung soll ein Verfahren

15

beschrieben werden, das - insbesondere im Falle von ,sich vereinigenden' Clustern - einen ,lokalen' Abgleich der Synchronisationsparameter erzielt, noch bevor es zu einem Austausch von Daten zwischen den Mobiles der unterschiedlichen Cluster kommt.

5 Die aufgezeigte Lösung gilt für selbstorganisierende Funknetze mit einer zentral organisierten Synchronisation, aber auch unabhängig davon.

10

Datenfunkreichweite und Synchronisationsreichweite:

Die Datenfunkreichweite soll dabei als die Reichweite 15 definiert werden, in der ein potentieller Empfänger eine festgelegte BER ,gerade noch' gewährleisten kann. Entsprechend wird die Synchronisationsreichweite, als die Reichweite definiert, in der die korrekte Detektion der Synchronisationsparameter, wie z.B. der Zeitlage, durch einen 20 potentiellen Empfänger mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit gewährleistet werden kann.

Schutz-Zone:

25 Erfindungsgemäß soll die Synchronisationsreichweite einer Stationen größer sein als die resultierende Reichweite der Nutzdaten („Datenfunkreichweite“). Die Überreichweite der Synchronisationsinformation definiert dabei die sogenannte Schutzzzone, die vorteilhaft genutzt werden kann, um einen 30 lokalen Gleichlauf bestimmter Systemparameter zu erzielen, bevor der Datenaustausch zwischen den Stationen des gleichen Clusters durch die Transmissionen einer oder mehrerer Stationen des zweiten, sich nähernden Clusters signifikant gestört wird.

35

Fig. 7 verdeutlicht das Prinzip einerseits einer aktiven Schutz-Zone und andererseits einer passiven Schutz-Zone.

Je nachdem ob die referenzierte Stationen als Sender oder aber als Empfänger arbeitet, spricht man von aktiver bzw. passiver Schutz-Zone. Im ersten Fall gewährleistet die 5 Schutz-Zone, dass alle Stationen innerhalb der Datenfunkreichweite, die von der Stationen N1 gesendeten Daten empfangen; im zweiten Fall, dass alle Stationen innerhalb der Datenfunkreichweite der Stationen N1 die Daten zustellen können ohne dass eine asynchron laufendes zweites 10 Cluster zu Störungen führen kann.

Das Ziel einer höheren Synchronisationsreichweite gegenüber der Datenfunkreichweite kann technisch durch folgende Verfahren (angewandt auf die Synchronisationsfolge) 15 realisiert werden:

- Höhere Sendeleistung (Lage in einem separaten Frequenzband erforderlich)
- niedrigerer Modulationsindex
- 20 - höherer Spreizfaktor bei Einsatz von Bandspreiztechniken
- höhere Empfängerempfindlichkeit
- (optionale) Festlegung eines minimal benötigten Empfangspegels für die Datendetektion

25

Veranschaulichung der Schutz-Zone am Beispiel von UTRA TDD LCR:

In den folgenden Ausführungen sollen die Anforderungen an 30 eine aktive bzw. passive Schutz-Zone detaillierter für den Fall eines selbstorganisierenden Netzes auf Basis von UTRA TDD LCR betrachtet werden. Folgende Annahmen wurden getroffen:

35 - die Sendeleistung S aller Stationen sei gleich groß (UE class 2 : 250mW : 24dBm)

17

- die Sendeleistung von Datenburst und Synchronisationsburst sei gleich groß

5 - der Spreizfaktor für die Daten sei max. 16; der für die Synchronisation 144

- der Signal-Stör-Abstand (SNR) ..

10 .. für eine mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% erfolgreiche Synchronisation liegt bei $\delta_s = -7.0$ dB

10 .. für die Daten-Detektion δ_D - eine Packet Error Rate von $<10^{-2}$ soll garantiert werden - liegt bei max.

15 $\delta_D = 7$ dB, womit sich ein Abstand von $\Delta\delta = \delta_D - \delta_s = 14$ dB ergibt.

15 - die Empfängerempfindlichkeit E_{D0} für die Daten liege entsprechend dem Standard bei $E_{D0} = -105$ dBm.

Die Empfängerempfindlichkeit für die Synchronisation ist um $\Delta\delta$ empfindlicher als E_{D0} und liegt demnach bei $E_s = E_{D0} - \Delta\delta$.

Zur Reduktion der Datenreichweite kann (optional) der

20 benötigte Empfangspegel für die Datendetektion E_D um $\varepsilon_D > 0$ dB angehoben werden, d.h. $E_D = E_{D0} + \varepsilon_D = -105$ dBm + ε_D . Im folgenden werden zwei Beispiele gezeigt, wobei im ersten die Anhebung des Empfangspegels notwendig ist, um die Schützzone aufrecht zu erhalten und wo im zweiten auf die Anhebung des Pegels verzichtet und damit eine höhere Reichweite erzielt werden kann.

Die Synchronisationsreichweite wird durch die Differenz aus Sendepegel und Empfängerempfindlichkeit E_s festgelegt, das

30 Link-Budget für die Sync. ergibt sich demnach zu

$$\begin{aligned}\xi_s &= S - E_s = S - E_{D0} + \Delta\delta \\ &= 129 \text{ dB} + \Delta\delta.\end{aligned}$$

Entsprechend gilt für die Datenreichweite

$$\begin{aligned}\xi_D &= S - E_D = S - E_{D0} - \varepsilon_D = \xi_s - \Delta\delta - \varepsilon_D \\ &= 129 \text{ dB} - \varepsilon_D.\end{aligned}$$

35 Dazu ist die Darstellung in Fig. 8 zu betrachten.

Die Anforderungen an eine aktive Schutz-Zone sollen an Hand obiger Abbildung kurz erläutert werden. Mit der Transmission eines Datenbursts durch die Stationen N_1 wird sowohl die 5 Datenreichweite als auch - durch die gleichzeitige Emission der Midambel - die Sync.-Reichweite und damit die Schutz-Zone (für die Station N_1) festgelegt. Eine Station N_2 liege in Datenfunkreichweite von N_1 . Die Störleistung eines 10 potentiellen Störers (Station N_4) soll um δ_D niedriger liegen als die Empfangsleistung, die von der Station N_1 übertragenen Datenpaket. Der Path Loss zwischen Empfangs-Station N_2 und 15 potentiell Störer N_4 sollte dementsprechend $\xi_D + \delta_D$ betragen. Auf Grund der unterschiedlichen Ausbreitungswege zw. N_1 und N_2 respektive zw. N_4 und N_2 muss die 20 Synchronisationsreichweite mindestens $\xi_S = 2\xi_D + \delta_D$ betragen. Damit muß der notwendige Pegel für den Datenempfang um $\varepsilon_D = 0.5 (S - E_{D0} + \delta_S) = 61$ dB auf $E_D = -44$ dBm angehoben werden. Mit einer Freiraumdämpfung von

$$20 \quad \rho / dB = 32.44 + 20 \log_{10}(r / km) + 20 \log_{10}(f_c / MHz)$$

ergibt sich damit eine Datenreichweite < 50 m.

25 Die Darstellung in **Fig. 9** zeigt folgendes:
Im Gegensatz zur aktiven Schutz-Zone schützt die passive nicht den Datenempfang einer dritten Station, die innerhalb 30 der Datenreichweite von N_1 liegt, sondern garantiert vielmehr, dass eine Datenübertragung von Stationen wie N_2 , N_3 zu N_1 durch das sich nähernde zweite Cluster aus den Nodes N_4 , N_5 , N_6 nicht signifikant gestört wird. Dies vereinfacht die Anforderungen an die Schutz-Zone erheblich. Die 35 Synchronisationsreichweite muss hier lediglich einen Abstand von

$$35 \quad \xi_S = \xi_D + \delta_D$$

garantieren. Damit gilt für die Anhebung der Empfängerempfindlichkeit auf einen minimalen Empfangspegel für die Datendetektion $\varepsilon_D = \delta_S < 0$ dB. Eine Anhebung der

Empfängerempfindlichkeit ist hiermit nicht erforderlich. Es verbleibt eine Reserve von 7 dB. Die erzielbaren Daten-Reichweiten liegen deutlich über 10 km.

5 Dabei ist folgendes festzuhalten:

- Mit einer passiven Schutz-Zone lassen sich wesentlich höhere Reichweiten erzielen als bei Verwendung eines aktiven.
- 10 • Der Aufwand für die Synchronisation ist bei der passiven Schutz-Zone wesentlich höher. Die passive Schutz-Zone muß einen potentiellen Sender ‚schützen‘, was die ständige/zyklische Transmission seiner Sync-Sequenz erforderlich macht. Dies gilt im Prinzip für alle 15 Stationen eines Clusters. Die aktive Schutz-Zone hingegen muss nur für die entsprechende Station kurz bevor die Transmission erfolgt aufgebaut werden. Zur effizienten Ausnutzung der Funkressourcen sollte die passive Schutz-Zone mit einer Joint Synchronisation – hier wird nur eine Ressource von allen Mobiles eines 20 Clusters gemeinsam belegt – kombiniert werden.
- Wird mit unterschiedlichen Sendeleistungen gearbeitet, so muss man entweder für die Transmission der Sync.-Sequenz in ein separates Frequenzband ausweichen (und 25 dort mit der max. Sendeleistung arbeiten) oder aber die Differenz zwischen max. und minimaler Sendeleistung im Leistungs-Budget berücksichtigen.

In mobilen Datenfunknetzen stellt insbesondere die 30 Vereinigung zweier unabhängig voneinander aufsynchronisierter und damit in der Regel asynchroner Cluster hohe Anforderungen an die dezentrale Synchronisation. Erfindungsgemäß soll die Synchronisationsreichweite einer Station größer sein als die resultierende Reichweite der Nutzdaten. Die Überreichweite 35 der Synchronisationsinformation definiert dabei die sogenannte Schutz-Zone, das vorteilhaft genutzt werden kann, um einen lokalen Gleichlauf bestimmter Systemparameter zu

20

erzielen, bevor der Datenaustausch zwischen den Stationen des gleichen Clusters durch die Transmissionen einer oder mehrerer Stationen des zweiten, sich nähern Clusters signifikant gestört wird. Das Ziel einer höheren

5 Synchronisationsreichweite gegenüber der Datenfunkreichweite kann technisch durch folgende Verfahren (angewandt auf die Synchronisationsfolge) realisiert werden:

- höhere Sendeleistung
- 10 - niedrigerer Modulationsindex
- höherer Spreizfaktor bei Einsatz von Bandspreiztechniken
- höhere Empfängerempfindlichkeit
- (optionale) Festlegung eines minimal benötigten Empfangspegels für die Datendetektion

15

Im folgenden wird eine weitere Ausführungsvariante vorgestellt:

20 Dezentrale Slot-Synchronisation für selbstorganisierende Datenfunknetze basierend auf dem slotted ALOHA-Verfahren

In einem Funksystem nach dem pure ALOHA-Verfahren sendet jeder Teilnehmer seine Daten sofort nach deren Generierung in 25 Datenpaketen fester Länge. Da die aktuelle Belegung des Funkkanals nicht vor der Sendung überprüft wird, kann es leicht zu Kollisionen mit den Aussendungen von anderen Teilnehmern kommen. Zwei Datenpakete sind verloren, wenn sie kollidieren, d.h. sich auch nur geringfügig zeitlich 30 überlappen.

Eine deutliche Verbesserung der Anzahl von erfolgreichen Übertragungen lässt sich dadurch erreichen, dass die Teilnehmer nur zu bestimmten Zeitpunkten senden dürfen. Diese 35 Modifikation des pure ALOHA-Verfahrens wird als slotted ALOHA bezeichnet. Für slotted ALOHA halbiert sich im Vergleich zu pure ALOHA das Zeitintervall, in welchem zwei Datenpakete kollidieren können.

Ein Burst, der innerhalb eines Zeitschlitzes beim slotted ALOHA übertragen wird, könnte z.B. die in Fig. 10 gezeigte Struktur aufweisen. Neben der eigentlichen Datensequenz, 5 enthält der Burst noch zumindest eine zusätzliche Sequenz, die sowohl dem Sender auch als auch dem Empfänger bekannt ist und sowohl für die Synchronisation als auch die Kanalschätzung herangezogen werden kann. Abhängig von der Anordnung innerhalb des Bursts spricht man auch von einer 10 Pre- oder Midamble. Die sogenannte Guard-Period (GP) dient der Kompensation von Laufzeitunterschieden, sowie Referenztakt-Toleranzen der Teilnehmer. Üblicherweise wird für die Synchronisation mit Signalspreiztechniken gearbeitet. Damit kann für die Synchronisation der Zeitschlitzte, die 15 unter Punkt 3 vorgestellte, dezentrale Slot-Synchronisation vorteilhaft eingesetzt werden.

20 Die oben beschriebenen Figuren zeigen:

Fig. 1: eine Netzstruktur eines mobilen selbstorganisierenden Datenfunknetzes,

25 Fig. 2: ein erstes Beispiel zur Markierung der Synchronisationssequenz zur Rahmensynchronisation,

Fig. 3: ein zweites Beispiel zur Markierung der Synchronisationssequenz zur Rahmensynchronisation,

30 Fig. 4: ein Rahmenstruktur für den UTRA-TDD Modus (Low Chip Rate),

Fig. 5: - Teilbild A:
35 ein Beispiel einer sequentiellen dezentralen Synchronisation,

22

- Teilbild B:
ein Beispiel einer gemeinsamen dezentralen
Synchronisation,

5 Fig. 6: ein Beispiel zweier asynchroner Cluster,

Fig. 7: eine Darstellung einer aktiven Schutz-Zone und
einer passiven Schutz-Zone,

10 Fig. 8: eine Darstellung einer aktiven Schutz-Zone und den
Stör Reichweiten zu drei Mobilstationen N_4 , N_5 und
 N_6 ,

15 Fig. 9: eine Darstellung einer passiven Schutz-Zone zu drei
Mobilstationen N_4 , N_5 und N_6 ,

Fig. 10: ein Rahmenstruktur für den UTRA-TDD Modus (Low Chip
Rate).

Patentansprüche

1. Verfahren zur Synchronisation in einem zumindest teilweise selbstorganisierenden Funkkommunikationssystem mit einer Anzahl von Mobilstationen,
5 welche in gegenseitiger Funkreichweite über eine Luftschnittstelle liegen,
dadurch gekennzeichnet,
dass zumindest einige Mobilstationen aus der Anzahl von
10 Mobilstationen Synchronisationssequenzen übertragen,
anhand deren sich ein Teil der oder alle Mobilstationen
der Anzahl von Mobilstationen aufsynchronisieren.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
15 dadurch gekennzeichnet,
dass die Synchronisationssequenzen Teil eines informationstragenden Datenpaketes sein.
3. Verfahren nach Anspruch 1,
20 dadurch gekennzeichnet,
dass die Synchronisationssequenzen in einem eigenen Synchronisationskanal übertragen werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
25 dadurch gekennzeichnet,
dass aufsynchronisierende Mobilstationen die Synchronisationslagen der anderen Mobilstationen detektieren und ihre eigene Synchronisationslage aus diesen ableiten.
30
5. Verfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Mobilstation für die Bestimmung der eigene Synchronisationslage die Güte der einzelnen detektierten
35 Synchronisationslagen und/oder ihre vorhergehende Synchronisationslage berücksichtigt.

24

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass Synchronisationsdaten im gleichen Burst, der auch die
Nutzdaten trägt, erfolgt.

5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Synchronisationsdaten über einen weiteren vom
eigentlichen Nutzdatenburst separierten Burst übertragen
werden.

10

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Synchronisationssequenzen zyklisch oder
periodisch übertragen werden.

15

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass zur Verbesserung der Synchronisation ein Maß für die
Qualität der Referenz angegeben wird.

20

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Synchronisationsdaten über einen weiteren vom
eigentlichen Nutzdatenburst separierten Burst übertragen
werden.

25

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Synchronisation für Zeitschlüsse für eine
Synchronisation von Zeitrahmen verwendet wird.

30

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, innerhalb eines
Zeitschlitzes nur eine Mobilstation den Sendebetrieb
aufnimmt.

35

13. Mobilstation in einem zumindest teilweise selbstorganisierenden Funkkommunikationssystem,
5 dadurch gekennzeichnet,
dass Mittel zum Empfang von Synchronisationssequenzen einiger Mobilstationen aus einer Anzahl von Mobilstationen vorhanden sind, anhand deren sich die Mobilstation aufsynchronisiert.

10 14. Mobilstation nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass Mittel zum Empfang von Synchronisationssequenzen einiger Mobilstationen aus einer Anzahl von Mobilstationen vorhanden sind.
15

15. Funkkommunikationssystem mit mehreren Mobilstationen nach einem der Ansprüche 13 oder 14.

FIG 1

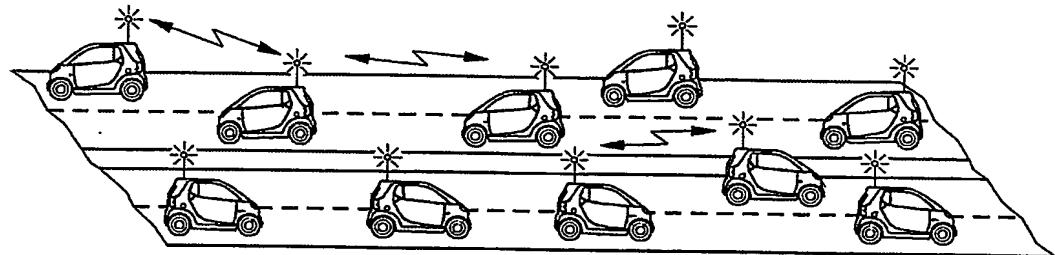


FIG 2

Beispiel 1:

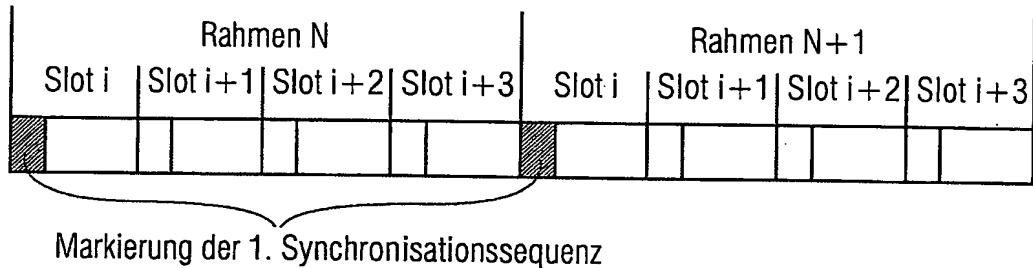
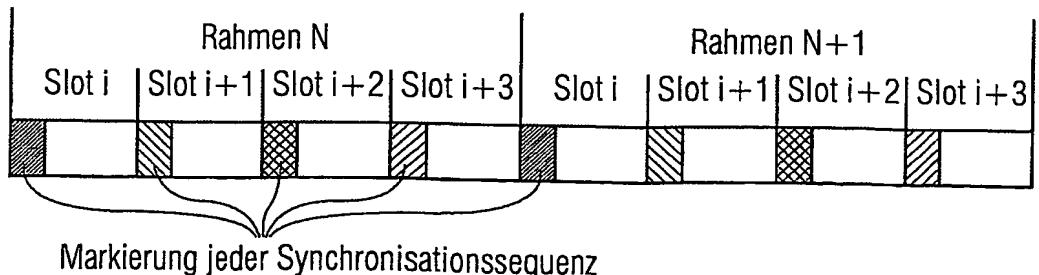


FIG 3

Beispiel 2:



2/4

FIG 4

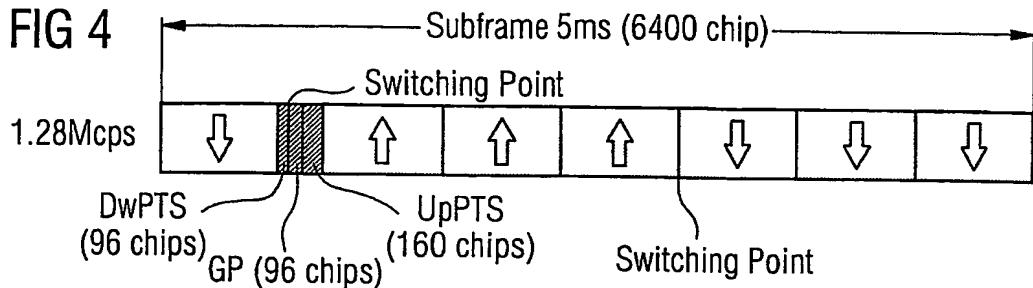


FIG 5A

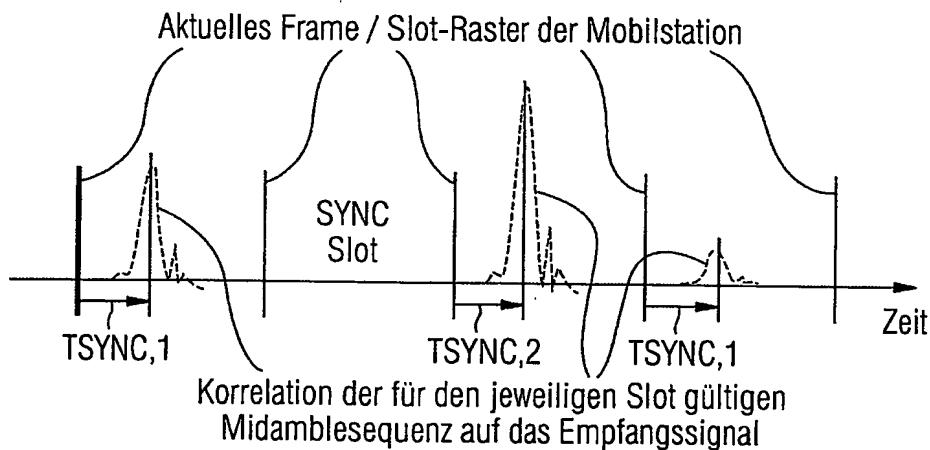
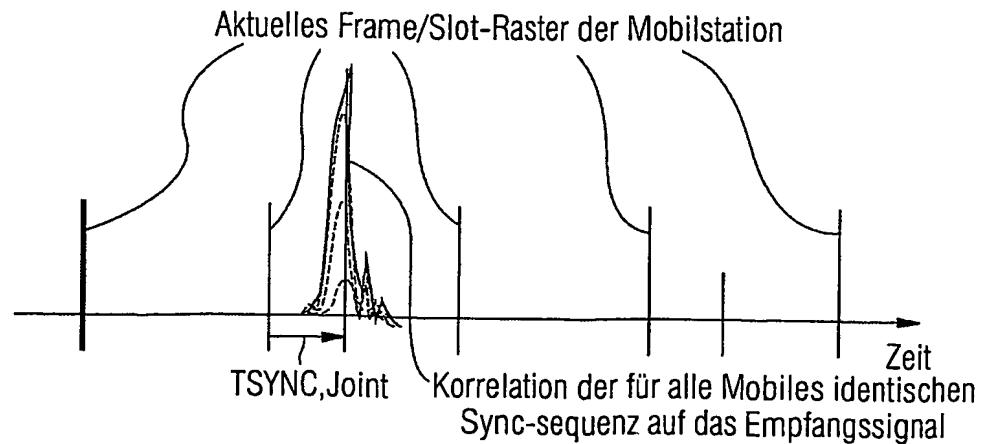
Sequential Decentral Synchronisation

FIG 5B

Joint Decentral Synchronisation

3/4

FIG 6

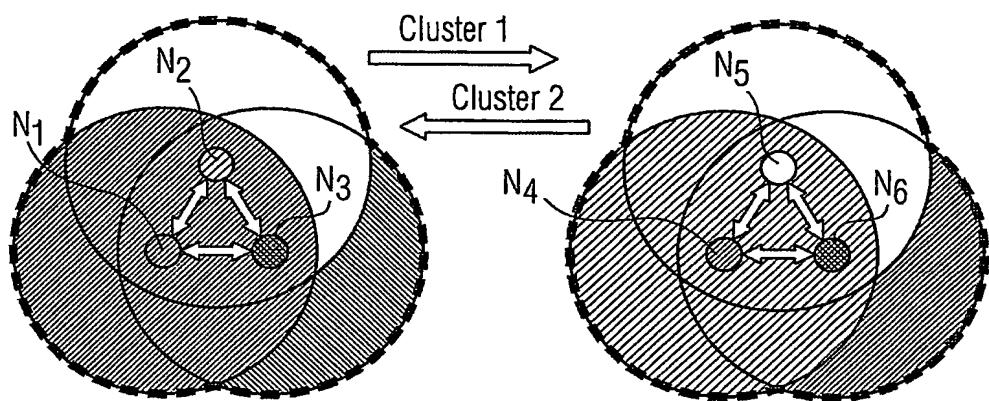
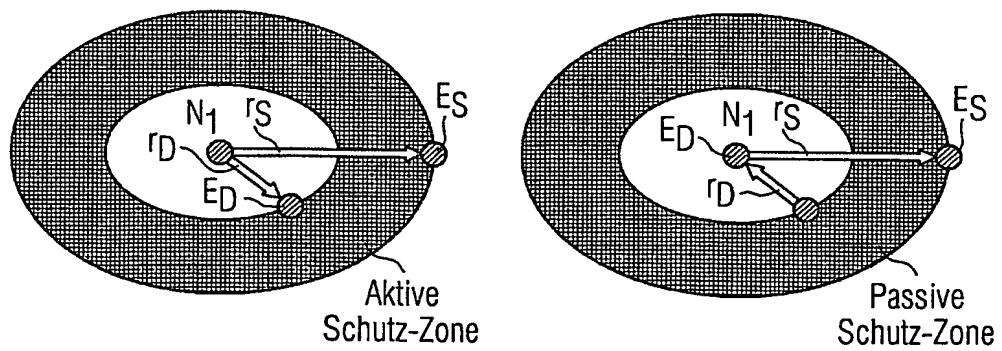


FIG 7



4/4

FIG 8

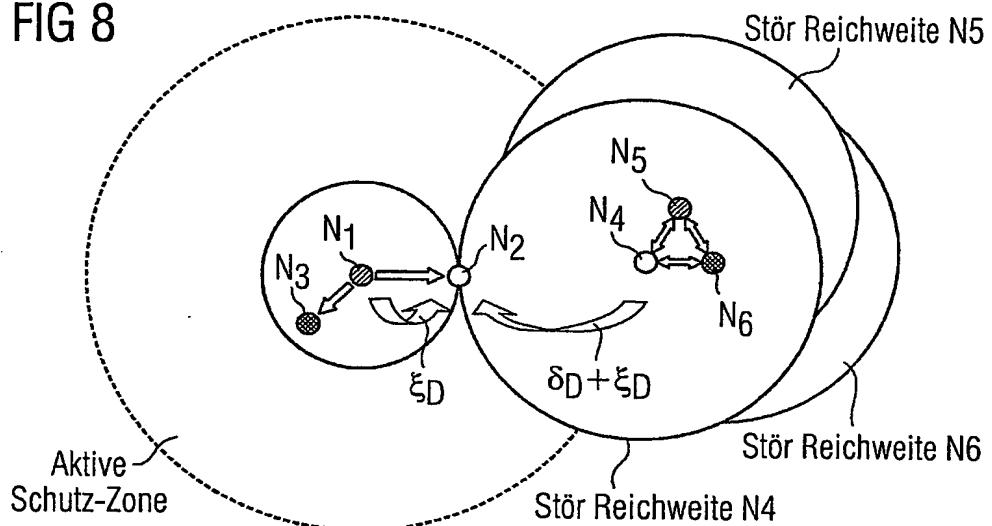


FIG 9

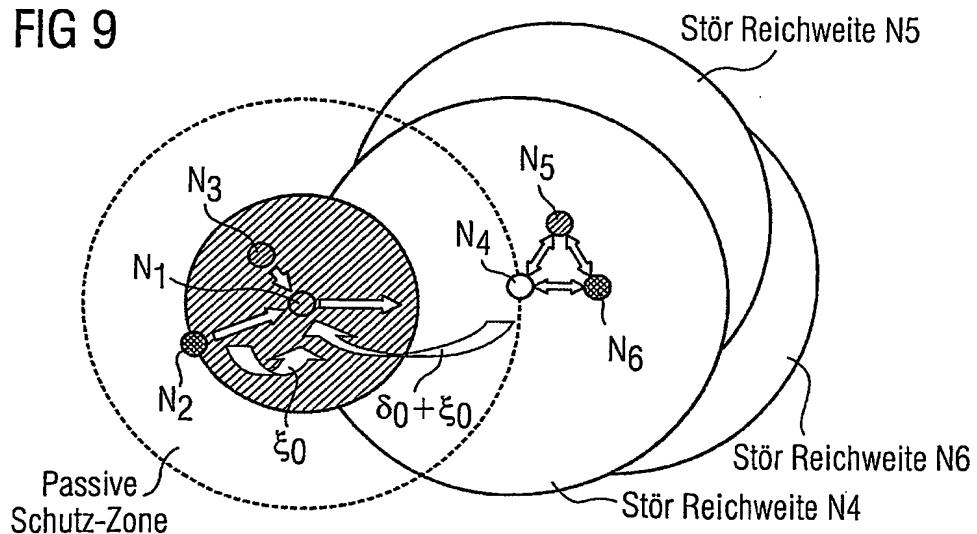


FIG 10

